

係留浮力の衝撃力緩和に関する研究 (1)

—衝撃力吸収機構の理論的考察—

中 村 充*・上 北 征 男**

1. 緒 言

わが国の漁業は、戦後、沿岸から沖合へ、沖合から遠洋へと漁場の拡大を行って国民の動物性蛋白の 50% 以上を占める魚類を供給してきた。しかるに、昭和 49 年に行われた国際海洋法会議において、漁業管轄権を含む沿岸 200 カイリの経済水域の設定が主張され、世界のすう勢はほぼその案にまとりつつある。これが実現された場合、わが国の遠洋漁業は壊滅的打撃をこうむり、昭和 50 年度に年間 1 000 万トン以上ある漁獲高が、水産庁の試算では、約 600 万トン前後になるとされている。現在日本の漁業のおかれている情勢をみると、外国の影響を受けない沿岸域における栽培漁業の強化が急務となる。

一方、日本の沿岸域は、臨海工業地帯の造成、人口の都市集中化に伴い、海洋汚染が著しく、また、漁業自体でも、従来、岬の影、湾奥部等天然の地形を利用して行われてきた好適な養殖漁場においても、給餌残渣、糞等の海底堆積物により、漁場の老化現象は著しく進行している。これらの解決策として、漁場の沖合化が久しく叫ばれてきた。しかるに、漁場の沖合化は、おのずから施設に加わる波力の増大をきたし、それに対する施設保全対策が必要となる。その方法としては、

- 1) 浮消波工等の外郭施設を設置してその内面を漁場として利用する。
- 2) 施設自体の耐波強度の強化または、強波浪時、施設自体を、海中に沈め、波力の減少を図る。

などの方法が開発研究されてきた。しかし、いずれの場合にも、水深が 30~100m と深いため、これら施設を海域の所定の位置に固定するための係留が必要となる。従来、これら海面上に布設された自由係留施設、例えば、網生簀、筏式施設および浮防波堤の係留索には、波浪時衝撃力が発生し、往々にして係留索の切断、アンカーの引かれによる施設の破損が見受けられた。現在、この係留索に発生する衝撃力を吸収する方法として、網生簀等

小規模施設において、施設と係留索の中間に係留浮子を設置する方法が経験的に行われている¹⁾。この係留浮子の規模決定は、経験的に行われているのみで、その算定法は余剰浮力が小さいほど効果が大きいという程度しかわかっておらず、確立されていない。

施設の沖合化、大規模化には、衝撃緩和装置の開発が非常に重要である。

本研究は、係留浮子の衝撃力吸収機構について、理論的に考察し、衝撃緩和のための係留浮子の設計方法について述べたものである。

2. 係留浮子の衝撃力吸収機構の理論

海面上に自由係留された浮体は波運動により強制振動し、係留索の緊張時、係留索に衝撃力が生じる。以下で述べる方法は衝撃力を係留索と施設浮体の中間に設置された係留浮子の移動時の流体抵抗により吸収しようとするものであり、図-1 にその概略を示す。

図-1 において、施設浮体から連結索を通じて係留浮子に作用力が伝達された際、係留浮子は、その作用力により運動する。その際、

- 1) 係留索長 (L) に対し、係留浮子の移動は微小で $d\theta \approx 0$ と見做し得る。
- 2) 係留索の伸びによる衝撃力吸収は無視する。
- 3) 係留索の重量および索に働く流体抵抗は無視する。

と仮定する。この時、係留浮子の運動方向は、係留浮子が係留索で海底に固定されているため、図-1 に示す v 方向に移動する。1) の仮定より

$$\angle ABB' = \angle AB'B = \angle R - d\theta/2 \approx \angle R$$

となる。

この時、係留浮子の v 方向の運動方程式は、式 (1) で示される。

$$\frac{\sigma_0}{g} V \frac{dv}{dt} = F \cdot \sin \theta - f \cdot \cos \theta - C_D A \frac{w_0}{2g} v^2 - C_M V \frac{w_0}{g} \frac{dv}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 σ_0 , w_0 : 係留浮子 (B_A)、海水の単位体積重量、

* 正会員 農博 農業土木試験場水産土木第 3 研究室長

** 正会員 農業土木試験場水産土木第 1 研究室

よって $t < t_0$ すなわち $t < t_1$ で F は減少関数である。

ゆえに、 F の最大値 $F_{\max}$ は、 $t=0$ のときで式 (13) で示される。

$$F_{\max} = \frac{m\gamma \sin \theta}{\alpha} \left[1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2 \right] \quad \dots\dots\dots (13)$$

なおここで、 $v_0 = u_0 / \sin \theta$ である。

次に、係留浮子が衝撃力の吸収に有効に作用する条件について考察する。その条件は、

1) 係留浮子が衝撃力を吸収している作用時間内に、係留浮子が、施設浮体と海底固定点の直線上の点まで移動しないこと。

2) 衝撃力の作用時間後、次の衝撃力の作用時間までに係留浮子は、浮力により海面上に浮上していること。が必須となる。

まず第1の条件について、係留浮子の移動距離 S を求めると、式 (6) から

$$\begin{aligned} S &= \int_0^t v \cdot dt = \sqrt{\frac{\gamma}{\beta}} \\ &\times \int_0^t \tan \left[-\frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha} t + \tan^{-1} \sqrt{\frac{\beta}{\gamma}} v_0 \right] dt \\ &= \frac{\alpha}{\beta} \ln \left[\cos \frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha} t + \sqrt{\frac{\beta}{\gamma}} v_0 \sin \frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha} t \right] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (14)$$

となる。式 (14) 右辺 t に式 (10) を代入し、衝撃力作用時間内の係留浮子の移動する距離 S_t を求めると

$$S_t = \frac{\alpha}{\beta} \ln \sqrt{1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

となる。

一方、図-1 から、施設浮体、係留浮子および海底固定点が直線に並ぶ時の係留浮子の移動距離 S_0 を求めると、

$$S_0 = L_1 \tan \theta_1 = \frac{\frac{L_1 h}{L}}{\sqrt{\left(1 + \frac{L_1}{L}\right)^2 - \left(\frac{h}{L}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 L, L_1 : 係留索および連結索の長さ、 h : 水深

S_t が S_0 より小さくなくてはならないことから、式 (15)、(16) を用いて

$$\frac{\alpha}{\beta} \ln \sqrt{1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2} < \frac{\frac{L_1 h}{L}}{\sqrt{\left(1 + \frac{L_1}{L}\right)^2 - \left(\frac{h}{L}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

が得られ、式 (17) より、 L, L_1 を定める。

第2の条件について求める。

図-2 の記号を用いて、係留浮子が余剰浮力により浮上する際の運動方程式を求めると、式 (18) となる。

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_0 V}{g} \frac{dv_u}{dt} &= f \cdot \cos \theta - \frac{w_0}{2g} C_D A v_u^2 \\ &\quad - \frac{w_0}{g} C_M V \frac{dv_u}{dt} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここに、 v_u : 係留浮子の浮上速度

$$\left. \begin{aligned} V \left(\frac{\sigma_0}{w_0} + C_M \right) \frac{dv_u}{dt} &= \frac{g}{w_0} f \cos \theta - \frac{1}{2} C_D A v_u^2 \\ \text{いま} \\ \alpha' &= V \left(\frac{\sigma_0}{w_0} + C_M \right) \\ \beta &= \frac{1}{2} C_D A \\ \gamma &= \frac{g}{w_0} f \cdot \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

とおいて、式 (18) を解くと

$$-\frac{1}{\sqrt{\beta\gamma}} \operatorname{arc} \tanh \frac{\beta}{\sqrt{\beta\gamma}} v_u = -\frac{1}{\alpha'} t + K_1$$

$t=0$ で $v_u=0$ であるから $K_1=0$ となる。

よって

$$v_u = \sqrt{\frac{\gamma}{\beta}} \tanh \frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha'} t \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。係留浮子の浮力のみによる t_2 秒後の浮上距離 S_u を $t=0$ で、 $S_u=0$ の初期条件を代入して求めると、

$$\begin{aligned} S_u &= \int_0^{t_2} v_u \cdot dt = \sqrt{\frac{\gamma}{\beta}} \int_0^{t_2} \tanh \frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha'} t \cdot dt \\ &= \frac{\alpha'}{\beta} \ln \cosh \frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha'} t_2 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (21)$$

となる。これが式 (14) で求めた衝撃力の吸収に要する係留浮子の移動距離から浮上するとすれば、浮上に要す

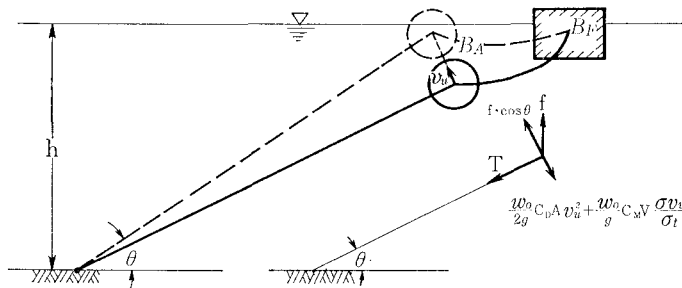


図-2 係留浮子の浮上時の作用図 (浮力のみが作用した場合)

る時間 t_2 は、式 (15) と式 (21) を等しいとおいて

$$\frac{\alpha}{\beta} \ln \sqrt{1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2} = \frac{\alpha'}{\beta} \ln \cosh \frac{\sqrt{\beta\gamma}}{\alpha'} t_2$$

となり、この式より t_2 を求めると

$$t_2 = \frac{\alpha'}{\sqrt{\beta\gamma}} \operatorname{arc} \cosh \left[1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2 \right]^{\alpha/2\alpha'} \dots\dots\dots (22)$$

となる。この時間 t_2 より長い時間間隔で F が作用しなければならない。施設浮体の固有周期、または施設浮体に働く波等の外力の周期を T とすれば

$$t_2 < \frac{T}{2} \dots\dots\dots (23)$$

を満足するように係留浮子の規模を決定する必要がある。

続いて、この方程式を用いた衝撃緩和の場合、衝撃力 $F_{\max}$ を最小にするための係留浮子の持つべき性質について上記の理論から検討する。

余剰浮力については、式 (13) を余剰浮力 f について微分すると

$$\frac{\partial F_{\max}}{\partial f} = \frac{m \cdot \sin \theta}{\alpha} \cdot \frac{g \cdot \cos \theta}{w_0} > 0 \dots\dots\dots (24)$$

で、 $F_{\max}$ は f の増加関数となり、 $f=0$ で $F_{\max}$ は最小となる。このことは、余剰浮力 f が可及的に小さい方がよいことを意味し、従来経験的に言われていること¹⁾ が理論上からも検証できる。

係留浮子の大きさについては、式 (13) を係留浮子の容積 V で微分すると

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{\max}}{\partial V} &= -\gamma m \sin \theta \left[1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2 \right] \frac{1}{\alpha^2} \cdot \left(\frac{\sigma_0}{w_0} + C_M \right) \\ &= -\frac{\gamma m \sin \theta \left[1 + \frac{\beta}{\gamma} v_0^2 \right] \left(\frac{\sigma_0}{w_0} + C_M \right)}{\left\{ V \left(\frac{\sigma_0}{w_0} + C_M \right) + \frac{mg \sin^2 \theta}{w_0} \right\}^2} < 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (25)$$

で、 $F_{\max}$ は V の減少関数となる。このことは、係留浮子の大きさが大きいほどよいことを意味する。しかし、これらの事柄は、式 (23) に示される条件を満足しなければならないため、ある限界を持つことは当然である。

3. 結 言

海面上の浮体構造物の係留に際し、浮体運動によって係留索に生じる衝撃力を、係留浮子の運動に伴う流体抵抗で吸収緩和する機構について理論的考察を行い、従来経験的に行われていた浮施設の係留に関する工学上の設計法を示した。今後引き続いて、この理論の検証を模型実験および現地実験により行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 石田善久：高知県における沖合ハマチ養殖施設の試験について、水産土木第12巻1号，pp. 9～18，1975。